Energy, Mines and Resources Canada

Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Mining Research Laboratories

Laboratoires de recherche minière

Canada

ESSAIS DE POINÇONNEMENT SUR DES ROCHES DE LA ZONE MINÉRALISÉE FERDERBER, LES MINES BELMORAL, VAL–D'OR, QUÉBEC.

S. Dufresne

Février 1989 MRL 89–16 (TR)

MICROMEDIA

38 pp

ESSAIS DE POINÇONNEMENT SUR DES ROCHES DE LA ZONE MINÉRALISÉE FERDERBER, LES MINES BELMORAL, VAL–D'OR, QUÉBEC.

Sylvain Dufresne*

SOMMAIRE

Dans le cadre des travaux du projet conjoint CANMET–Belmoral de stabilité des chantiers de la mine Belmoral, des essais de double–poinçonnement ont été réalisés afin de fournir de l'information sur les propriétés physiques de la roche provenant de la zone minéralisée du gisement Ferderber, Val–D'Or, Québec. Ce type d'essai fut choisi de préférence à d'autres (compression uniaxiale en presse) puisque l'hétérogénéité de la roche ne permettait pas la préparation d'éprouvettes standards.

L'essai de double–poinçonnement est simple et économique d'exécution mais présente cependant une plus grande variabilité dans les résultats que les essais de compression en presse hydraulique.

Il fut observé lors de la réalisation d'une première série d'essais sur le matériau hétérogène le plus résistant (les échantillons les plus faibles ne pouvant être testés) que la distance séparant les deux poinçons, qui correspond à la grandeur du spécimen normale aux foliations, devait être limitée. Une rupture par feuillets se produisait lorsque cette dimension dépassait une valeur critique.

La dispersion des résultats est très importante mais une résistance moyenne en compression de 123MPa ± 58MPa fut obtenue. Ce résultat est cependant préliminaire et ne doit pas être considéré comme définitif tant qu'il n'aura pas été confirmé par d'autres types d'essais.

Mots clés: Essai de double–poinçonnement, essai sur roche hétérogène, essai index, mines Belmoral, gisement Ferderber, spécimens de forme irrégulière.

* Chercheur en sciences physiques, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa.

POINT LOAD TESTS ON SAMPLES FROM THE FERDERBER OREBODY, BELMORAL MINES, VAL–D'OR, QUEBEC.

Sylvain Dufresne*

SUMMARY

Within the cooperative Belmoral–CANMET mine stability project, point load tests were performed on samples from the Ferderber deposit, Val–D'Or, Quebec. The aim was to gather information on the physical properties of the orebody. This type of test was selected since the heterogeneities of the rock rendered compression testing impractical.

The point load test is a simple and economic test to perform but it is less accurate than the evaluation of compression strength using a hydraulic press testing machine.

It has been observed during a first series of tests on this more competent heterogeneous material (it was not possible to test the weakest one), that the distance between the loading points, length that represent the specimen size normal to the foliations, had to be restricted. Ruptures occurred for a few layers when limit dimensions were exceeded.

The results show a scattering, but an average compression strength of 123MPa ± 58MPa (17 840psi ± 8 410psi) has been obtained. This is, however, a first estimate and it should not be considered as a design value. Other types of tests should be performed to confirm these results.

Keywords: Point load test, index test, heterogenious rock testing, Belmoral mines, Ferderber orebody, irregular lump specimens.

* Physical Scientist, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa.

INTRODUCTION

Dans le cadre des ententes conjointes de recherches sur la stabilité des chantiers du gisement Ferderber qui sont en cours aux Laboratoires de recherche minière du CANMET, une campagne d'essais fut entreprise afin de caractériser les propriétés physiques de la roche minéralisée et des épontes du gisement Ferderber de la mine Belmoral.

Alors que les forages aux diamants fournissaient suffisamment de spécimens pour l'analyse des propriétés des épontes, il fut impossible de réaliser un échantillonnage de la zone minéralisée afin de permettre la détermination en presse de la résistance en compression uniaxiale. Des essais de double–poinçonnement furent alors pratiqués afin d'obtenir l'information nécessaire pour la caractériser.

1. DESCRIPTION DE L'ESSAI DE DOUBLE–POINÇONNEMENT.

1.1. Utilité.

Cet essai permet la détermination de propriétés physiques d'une roche qui se prête difficilement à des essais standards de laboratoire comme la compression uniaxiale en presse. Cependant il ne présente pas des résultats aussi fiables.

C'est un essai index qui a pour but de classer les roches suivant un critère de résistance. Cette particularité lui permet d'être corrélé à la résistance en compression uniaxiale en presse. Il se veut une alternative possible dans les cas où cette dernière ne peut être évaluée.

L'essai est normalisé par un comité du 'International Standards for Rock Mechanics' (ISRM, référer à la norme pour plus de détails). L'essai est réalisé de façon courante sur des éprouvettes de 50 millimètres de diamètre mais des corrections peuvent être réalisées afin de permettre l'évaluation pour différents calibres de forage et pour des essais sur des blocs de forme irrégulière.

1.2. Équipement utilisé.

L'équipement utilisé lors de la réalisation de cet essai est illustré à la figure 1. Bien qu'il se présente parfois sous d'autres formes, les composantes énumérées à cette figure demeurent communes à tous les dispositifs. L'appareil présenté à la figure 1 correspond à celui utilisé lors des essais réalisés au CANMET.

1.3. Préparation des spécimens.

Les spécimens se présentent préférablement sous forme de carottes mais des blocs irréguliers peuvent être testés. Les carottes peuvent être chargées diamétralement ou axialement afin d'obtenir des résultats sur des roches ayant des plans de comportements différents. Les blocs de roche à analyser sont coupés perpendiculairement à la foliation à l'aide d'une scie aux diamants, afin de concevoir des spécimens respectant les normes établies pour ce type d'essai.

La figure 2 présente les relations géométriques à respecter lors de la préparation de ces échantillons. Un rapport de longueur sur diamètre supérieur à 1 est préférable.

1.4. Réalisation des essais.

Le spécimen dont les dimensions doivent respecter les normes mentionnées à la figure 2 est inséré entre les poinçons puis mis en charge manuellement. La distance séparant l'axe des poinçons et l'extrémité libre du spécimen doit être supérieure à 0,5 fois la distance qui sépare les points de chargement. La surface de rupture doit passer par les deux poinçons. Cette distance est appelée 'D'. L'essai est répété au minimum dix fois pour chaque roche et d'avantage pour les roches hétérogènes. Dans les cas d'hétérogénéité, les échantillons doivent être chargés parallèlement et normalement à la foliation ou schistosité, qui devrait présenter respectivement des valeurs minimales et maximales de force.

Le taux de chargement doit être régulier et le temps écoulé entre le début de l'essai et la rupture devrait être compris entre 10 et 60 secondes.

1.5. Interprétation mathématique des résultats.

L'essai de pénétration permet d'évaluer l'indice 'I_s' par la relation suivante:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2},$$

où 'P' est la charge appliquée (Newtons) et 'D_e' le diamètre équivalent (mm), distance séparant les deux poinçons à la fin de l'essai. Cette dernière est en relation avec le type d'essai réalisé et la forme des spécimens. Sa détermination est particulièrement importante lors d'un essai sur un matériau mou tel le schiste de Belmoral, où les poinçons pénètrent profondément avant la rupture.

Pour les essais sur des carottes soumises à un chargement diamétral (voir figure 2a), on note pour le diamètre équivalent:

$$D_e = D,$$

où 'D' est la distance séparant les poinçons à la rupture. Pour les chargements axiaux, les spécimens de forme cubique et irrégulière, la relation suivante s'applique:

$$D_e^2 = \frac{4W \cdot D}{\pi},$$

On notera que '$W \cdot D$' correspond à l'aire minimale du plan passant par les deux points de chargement, qui n'est pas nécessairement le plan de rupture.

Afin que les résultats soient comparables entre différents échantillons, une correction pour tenir compte de l'effet d'échelle doit être considéré car 'I_s' est fonction de 'D_e' (figure 3).

La valeur standardisée est la valeur de 'I_s' mesurée au cours d'un essai diametral lorsque 'D' est de 50mm, notée '$I_{s(50)}$'. Idéalement, les échantillons possédant une valeur de distance 'D' s'approchant de cette valeur sont préférables. Pour des éprouvettes de calibre NX (54mm), l'erreur induite sur 'P' est faible et ces échantillons peuvent être acceptés sans correction.

Dans le cas où une correction d'échelle est nécessaire, un graphique de 'P' versus 'D_e^2' sur un papier log-log est tracé pour l'ensemble des mesures (figure 3). Cette relation est généralement linéaire. Une valeur de 'D_e^2' égale à 2500mm^2 permet de déterminer 'P' à 'D_e' = 50mm. Dès lors '$I_{s(50)}$' peut être évalué. La norme de l'ISRM permet de corriger l'effet d'échelle suivant d'autres solutions (y référer au besoin).

2. ESSAIS RÉALISÉS AU CANMET SUR LE SCHISTE DE BELMORAL.

Des blocs de roche prélevés dans les chantiers du niveau 200 du gisement Ferderber de la mine Belmoral ont été acheminés au LCTM à Ottawa. Ceux-ci furent taillés à l'aide d'une scie aux diamants afin de préparer des spécimens qui répondraient aux géometries imposées par la norme du ISRM, décrite au chapitre précédent.

La roche analysée lors des essais provient de la zone minéralisée. Celle–ci présente une grande variabilité spatiale de résistance et de texture, d'un aspect glaiseux (déformable à la main) à des blocs présentant des foliations de plus ou moins grande cohésion (plans de chlorite parfois très plissés).

Suite à une première série d'essais ayant pour objectif de s'assurer du bon déroulement des opérations, il fut observé que les spécimens dont la distance 'D' séparant les poinçons était supérieure à 45mm présentaient une rupture par feuillet. De fait, lorsque la charge appliquée atteignait une valeur donnée, spécifique à chaque spécimen, on assistait à la rupture de quelques plans de foliations. En poursuivant la mise en charge, celle-ci augmentait à nouveau jusqu'à une valeur similaire à celle précédemment enregistrée où une nouvelle rupture de quelques foliations se produisait. À une valeur de 'D' inférieure à 45mm, une rupture totale entre les 2 poinçons survenait.

Pour cette raison, la distance 'D' fut limitée à 45mm lors de la préparation des spécimens. Les autres dimensions sont dès lors imposées ou limitées à celles du bâti de l'appareil. Les spécimens sont taillés à l'image de celui présenté à la figure 2c.

Chaque spécimen fut décrit qualitativement afin de déterminer sa résistance au trait d'un couteau, son pourcentage de minéraux leucocrates et schisteux.

Chaque spécimen des 19 échantillons de roche disponible ont été chargés jusqu'à la rupture en respectant les normes de l'ISRM. Les spécimens rejetés n'ont pas respecté celles-ci. Après chaque essai, la distance 'D' et la pression mesurée par un manomètre de 300psi (utilisé pour des valeurs de 'D' inférieures à 30mm) ou de 2000psi ('D' supérieure à 30mm) furent notées. Le choix du manomètre utilisé en fonction de la distance 'D' fait suite aux mesures de résistance obtenues après une première série d'essais où, pour des spécimens ayant une valeur de 'D' supérieure à 30mm, la mesure de la pression dépassait la valeur de 300psi. Connaissant l'aire du piston, il est possible d'établir la force appliquée à la rupture.

3. RÉSULTATS.

Les graphiques de 'P' en fonction de 'D_e^2' furent tracés pour les blocs présentant plus de 3 spécimens soumis à l'essai. Ils sont présentés aux figures 4 à 18. Deux symboles sont utilisés, soit un point pour les essais réalisés avec le manomètre de 300psi et une croix pour ceux réalisés avec celui de 2000psi. Le choix du manomètre est justifié par la dimension du spécimen, tel que mentionné plus haut.

Pour chacun d'eux, on remarque un nuage de points plus ou moins diffus. Certains échantillons présentent très peu d'observations. C'est le cas des échantillons 2, 3, 5, 13, A, X et Y. Les autres ont entre 6 et 15 spécimens.

Les mesures de dureté et la détermination du pourcentage de matériaux leucocrates furent comparés entre les différents échantillons afin de permettre des regroupements (tableau 1). Cette procédure est nécessaire suite à la grande variabilité spatiale des propriétés de la roche et permet de vérifier si tous les spécimens proviennent de la même population. À cette étape, l'évaluation à l'aide de régressions sur chaque échantillon est peu valable car dans plusieurs cas, le nombre de spécimens est trop peu nombreux.

La dureté ne s'est pas avérée être un critère décisif de regroupement car les résultats sont similaires pour l'ensemble des spécimens. Le pourcentage de matériaux leucocrates fut alors considéré. Trois classes furent définies: moins de 30% de minéraux leucocrates, entre 30% et 60%, et finalement plus de 60%. Les figures 19 à 21 présentent la superposition des nuages de ces trois classes. On remarque que les nuages occupent

la même étendue. Ces critères ne permettent pas de conclure que tous ces spécimens proviennent de populations similaires ou différentes.

Les échantillons les moins résistants discutés précédemment ont également été testés. Avec une teneur naturelle d'eau, ils se déformaient manuellement. Lorsque secs, ils s'effritaient. Il a été impossible de les couper à la scie car celle–ci les détruisait. Ils furent dès lors testés tel quel. La force mesurée fut nulle, les poinçons pénétrant jusqu'à la séparation des spécimens.

Ces spécimens, provenant également de la zone minéralisée, représentent donc la limite inférieure de résistance.

4. DISCUSSION.

La dispersion des résultats étant très élevée, il devient difficile de justifier le tracé d'une régression linéaire parmi ceux–ci.

Cet éparpillement est principalement le résultat de deux phénomènes, soit l'hétérogénéité très prononcée de la roche (qui d'ailleurs rend impraticable la réalisation de compression uniaxiale en presse hydraulique) et l'équipement utilisé. Celui–ci, bien que compact et portatif, ne présente pas les avantages d'un dispositif plus imposant où le chargement hydraulique est plus régulier, éliminant les mouvements et l'interférence que l'opérateur peut imposer au spécimen, par exemple lors de la rotation de la manivelle. Ce montage est également peu stable puisque la vis inférieure, qui sert également de poinçon, n'est fixé que par son contact avec la base de l'appareil. De plus la mobilité limitée de la vis reliée au poinçon supérieur présente des cas où l'on doit réinitier l'essai (vis en fin de course).

On note également que les nuages des résultats mesurés par les différents manomètres (figure 22) ne sont pas parfaitement superposés mais légèrement distants l'un de l'autre. Ceci est lié au fait que le volume effectif disponible sur les petits échantillons (manomètre de 300psi) est inférieur à celui des plus gros (manomètre de 2000psi), diminuant la résistance mobilisable.

À l'aide des mesures de forces réalisées, on peut déduire une valeur moyenne de 'P' et 'D_e^2' pour chaque nuage de points. Bieniawski (1) propose des relations pour tenir compte de l'effet d'échelle et permet ainsi d'établir la contrainte mesurée en tenant compte du diamètre des échantillons testés.

Pour chaque nuage de points (figure 22), on obtient des valeurs moyennes de force 'P' et de diamètre moyen 'D_e^2' égales à 3600N ± 1470N et 530mm^2 ± 170mm^2 pour le manomètre de 300psi et de 5870N ± 3020N et 930mm^2 ± 360mm^2 pour le manomètre 2000psi.

Une valeur moyenne de 'I_s' du schiste de Belmoral est obtenue pour chaque nuage;

$$I_{s(m)} = \frac{P}{D_e^2},$$

$$I_{s(m300)} = \frac{3600N}{530mm^2} \pm \frac{1470N}{530mm^2},$$

$$I_{s(m300)} = (6,8 \pm 2,8)MPa,$$

$$I_{s(m2000)} = \frac{5870N}{930mm^2} \pm \frac{3020N}{930mm^2},$$

$$I_{s(m2000)} = (6,3 \pm 3,2)MPa.$$

Bieniawski a étudié l'effet d'échelle en considérant trois types de calibre de forage, soit NX (54mm), BX (42mm) et EX (21,5mm). Pour chacun d'eux, il a évalué la relation mathématique entre la résistance en compression uniaxiale et la valeur de la mesure de 'I_s'. D'après ses travaux, la relation qui serait applicable dans le cas des spécimens testés à Belmoral serait celle qui correspond à un diamètre intermédiaire de forage entre le calibre BX et EX car les diamètres équivalents moyens mesurés pour les manomètres 300psi et 2000psi sont de 22,9mm et 30,5mm respectivement.

Ainsi, pour le manomètre 300psi, la relation entre σ et I_s pour un forage de calibre EX fut retenue alors qu'une valeur intermédiaire entre les calibres EX et BX fut choisie pour décrire la relation entre σ et I_s pour le manomètre 2000psi.

$$\sigma_{m300} = 18 \cdot I_{s(m300)},$$

$$\sigma_{m300} = 18 \cdot (6,8 \pm 2,8)MPa,$$

$$\sigma_{m300} = (122 \pm 50)MPa,$$

$$\sigma_{m2000} = 19,5 \cdot I_{s(m2000)},$$

$$\sigma_{m2000} = 19,5 \cdot (6,3 \pm 3,2)MPa,$$

$$\sigma_{m2000} = (123 \pm 62)MPa$$

En pondérant en fonction du nombre d'observations réalisées à l'aide de chaque manomètre (38 pour le manomètre 300psi et 72 pour le 2000psi), on obtient comme valeur moyenne;

$$\sigma_c = \frac{38}{110} \cdot (122 \pm 50)MPa + \frac{72}{110} \cdot (123 \pm 62)MPa,$$

$$\sigma_c = (42,1 \pm 17,3)MPa + (80,5 \pm 40,6)MPa,$$

$$\sigma_c = (123 \pm 58)MPa.$$

La détermination des propriétés physiques d'une roche hétérogène et peu résistante par des essais de double–poinçonnement est utile afin d'obtenir des résultats préliminaires. Cependant plus les spécimens sont déformables, moins les résultats sont significatifs et on doit alors se limiter à définir des valeurs moyennes. Des essais de chargement parallèles à la foliation (résistance minimale) n'ont pas été réalisés.

L'essai de double–poinçonnement est utilisé afin de prédire rapidement, et à faible coût, la résistance de la roche. Il est très utile également lorsqu'il est difficile de préparer des spécimens standards pour les essais de compression uniaxiale en presse. Cependant c'est un essai empirique (index) qui donne des résultats approximatifs lorsque la roche présente des caractéristiques similaires à celles retrouvées à Belmoral. Des essais complémentaires sont alors prescrits tels des essais indirects de tension.

CONCLUSION

Cette campagne d'essai a permis de réaliser les observations suivantes;

– L'essai de double–poinçonnement est simple d'utilisation. Les spécimens sont faciles à préparer. L'essai suit des procédures peu complexes et il est peu coûteux.

– Dans le cas de cette roche hétérogène, on note que l'épaisseur du spécimen 'D' est limitée et que la rupture feuillet par feuillet présente généralement une grandeur de force constante à chaque rupture. Cependant la force appliquée à la rupture finale (poinçon à poinçon) ne correspond pas nécessairement à celle obtenue lors des bris de feuillets.

– La dispersion des résultats sur le graphique log–log est très importante, ce qui implique qu'une prédiction de la force à D_e^2 de $50mm^2$ à l'aide d'une droite de régression présente peu d'intérêt. Une force moyenne est alors sélectionnée pour l'ensemble des résultats.

– La roche la moins résistante de la zone minéralisée de Belmoral, de par son aspect et sa texture, n'a pas permis la détermination d'une résistance minimale. Pour ce type de roche, l'essai de double–poinçonnement n'est pas approprié car les poinçons pénètrent et déforment le matériau.

– Le choix d'un équipement de laboratoire dont le piston de chargement est indépendant de la structure de chargement est préférable et requiert moins de manipulations.

Une valeur moyenne de résistance de 123MPa ± 58MPa (17 840psi ± 8 410psi) fut obtenue pour la roche la plus résistante provenant de la zone minéralisée de Belmoral. Cependant ce résultat doit être utilisé comme une valeur préliminaire et ne doit pas servir à des fins de conception ultime en ingénierie. D'autres type d'essai sont alors prescrits afin d'améliorer la connaissance de ce matériau tels des essais indirects de tension.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire présenter sa gratitude pour la collaboration et le suivi technique que M.C. Bétournay des Laboratoires de recherche minière du CANMET a témoigné au cours de cette recherche. Il désire également remercier le professeur Garga de l'université d'Ottawa pour le prêt d'équipement nécessaire à la réalisation des essais de laboratoire. Finalement, l'auteur tient à souligner l'aide de B. Gallant du Laboratoire de recherche sur le charbon du CANMET à Sydney, Nouvelle–Écosse, pour lui avoir acheminer l'information disponible sur la théorie en relation avec ce type d'essai.

RÉFÉRENCES

1) BIENIAWSKI, Z.T., 'The Point–Load Test in Geomechanical Practice'. Research paper, Eng. Geology, no. 9, pp.1–11, 1975.

2) BROCH, E., 'Estimation of Strength Anisotropy Using the Point–Load Test'. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 20, No. 4, pp.181–187, 1983.

3) BROOK, N., 'The Equivalent Core Diameter Method of Size and Shape Correction in Point Load Testing'. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 22, No. 2, pp.61–70, 1985.

4) ISRM, 'Suggested Method for Determining Point Load Strength'. ISRM Commission of Laboratory Tests, Document 1, pp. 8–12, 1973.

5) SPIEGEL, M.R., 'Probabilités et statistique: Cours et problèmes.' Série Shaum, sixième tirage, 1987, éditeur McGraw–Hill.

6) SWAN, G., OLOFSSON, T., 'A Multi–Purpose Rock Core Testing Device'. American Society for Testing Materials, Geotech. Testing J., Mars 1983.

TABLEAU 1
MESURE DE DURETÉ ET DE POURCENTAGE DE MATÉRIAUX LEUCOCRATES OBSERVÉS SUR LES ÉCHANTILLONS.

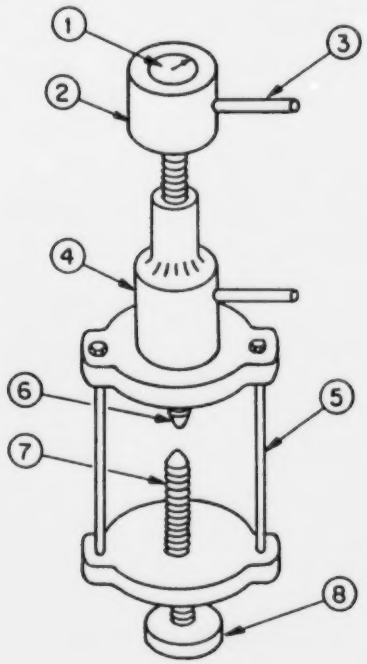
ÉCHANTILLONS*	DURETÉ**	% LEUCOCRATE
1	1	65–75
2	1	50
3	1	50
4	1	50
5	1	40
6	1	30–40
7	1	30–40
8	1	20
9	1	60
10	0–1	80
11	1	80–85
12	1	30
13	1	100
14	1	50
A	1	30–40
E	1	35
X	1	15
Y	1	55–60
Z	1	50

* Ensemble de spécimens d'un même bloc de roche

** 0: Aucune marque suite à un trait de couteau; 1: marque légère visible; 2: trait profond.

FIGURE 1
DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT UTILISÉ LORS
D'UN ESSAI DE DOUBLE–POINÇONNEMENT.

Représentation du model no. TE-1000 de Roctest.



1) Manomètre de lecture de force ou de pression (à la condition de connaître la surface de charge du piston.)

2) Tête de chargement.

3) Levier de chargement. Le chargement est parfois réalisé à l'aide d'un piston hydraulique indépendant.

4) Piston (qui est absent dans le cas d'un piston indépendant)

5) Chassis ou bâti.

6) Poinçon supérieur (en contact avec le piston de chargement.)

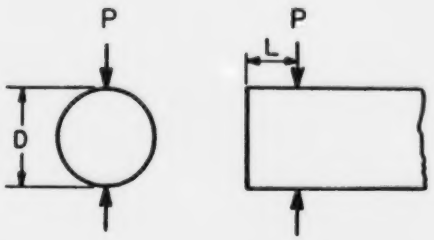
7) Vis d'appoint. Déplacement du poinçon inférieur.

8) Base.

FIGURE 2
PRÉPARATION DES SPÉCIMENS.

CAROTTES

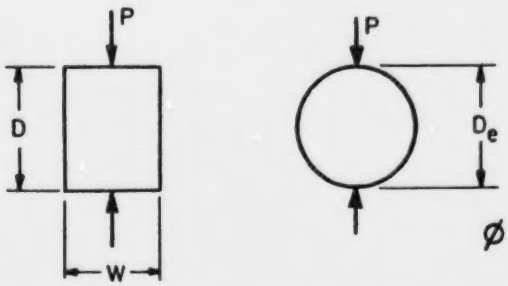
a) Chargement diamétral.



Relations :

$L > 0.5D$

b) Chargement axial.

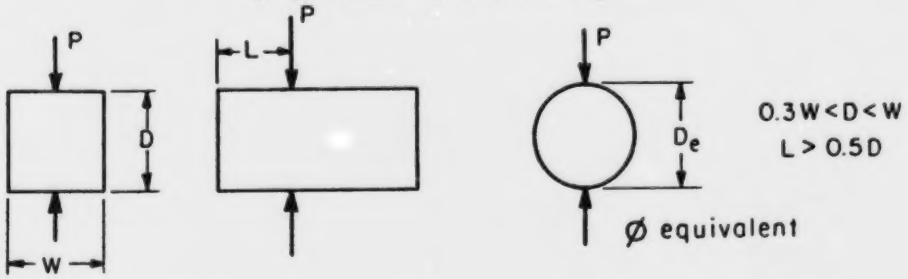


Relations :

$0.3W < D < W$

FORME NON-CYLINDRIQUE

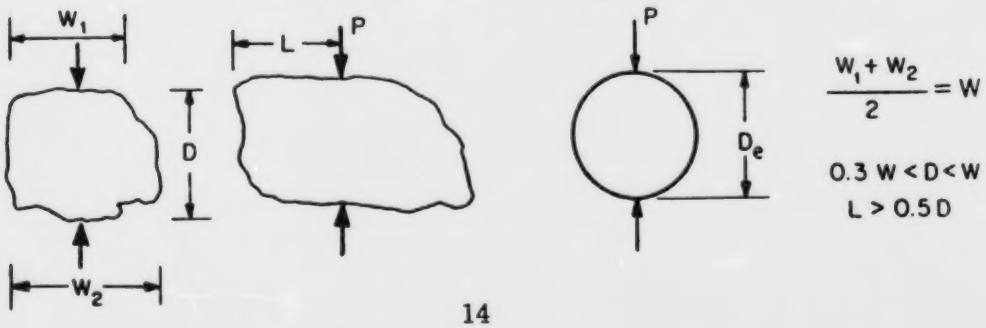
c) Spécimens de forme cubique.



$0.3W < D < W$

$L > 0.5D$

d) Spécimens de forme irrégulière.



$$\frac{W_1 + W_2}{2} = W$$

$0.3W < D < W$

$L > 0.5D$

FIGURE 3

REPRÉSENTATION DU DIAGRAMME LOG-LOG AFIN D'ÉVALUER $P_{(50)}$.

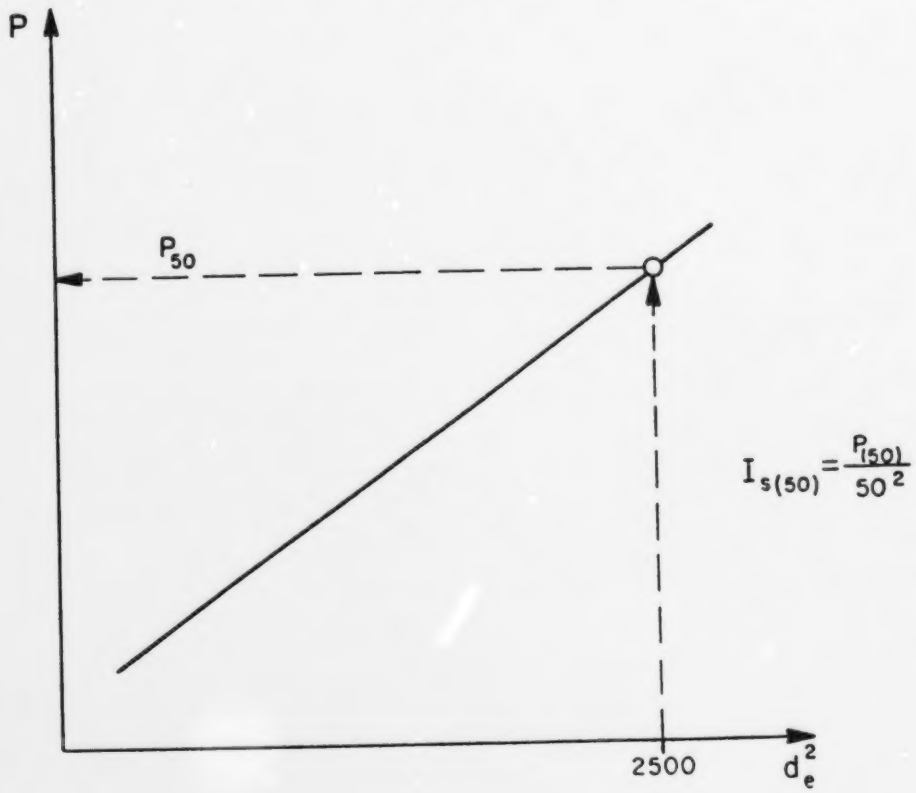


FIGURE 4: BLOC # 1

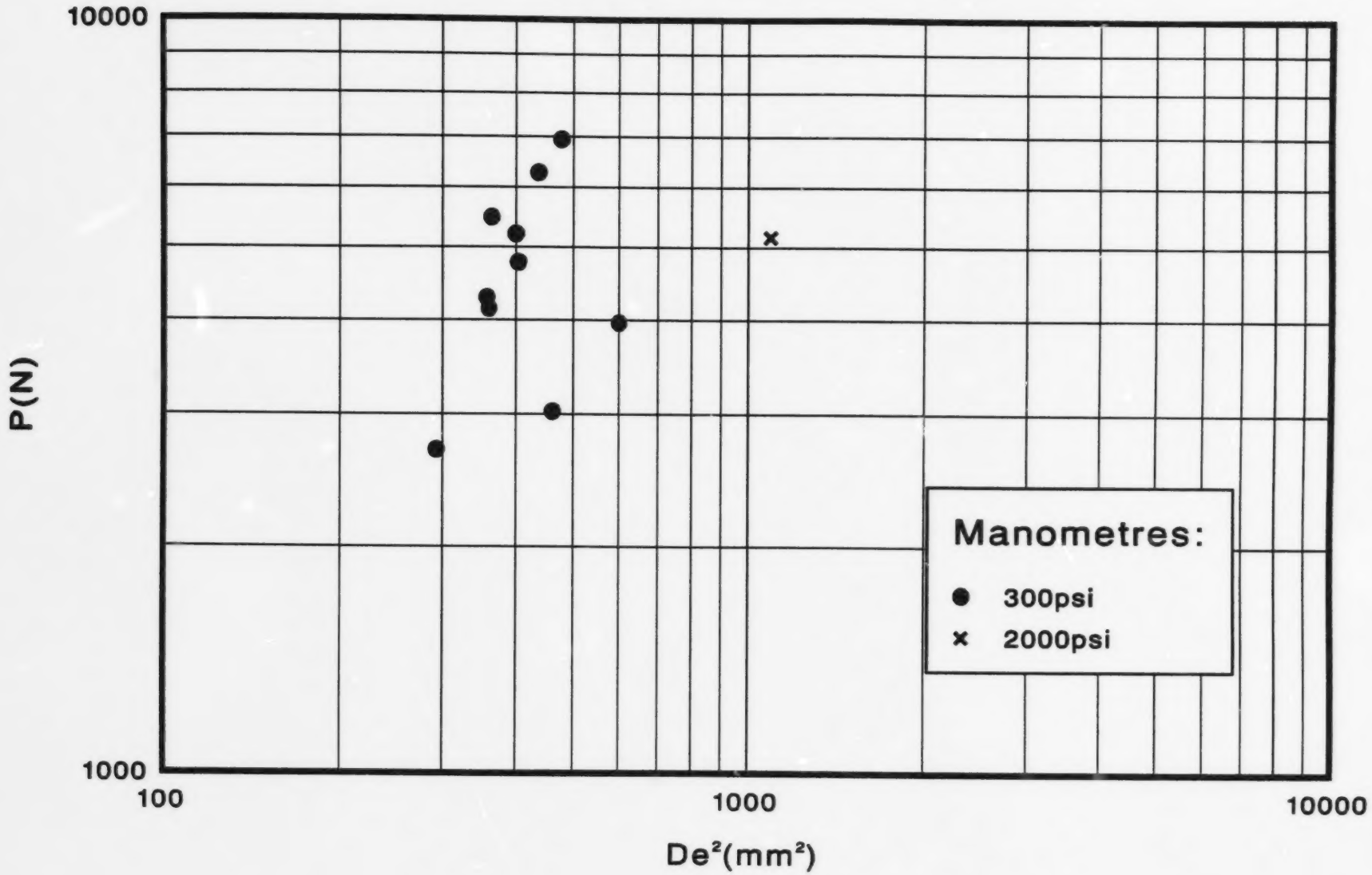


FIGURE 5: BLOC # 2

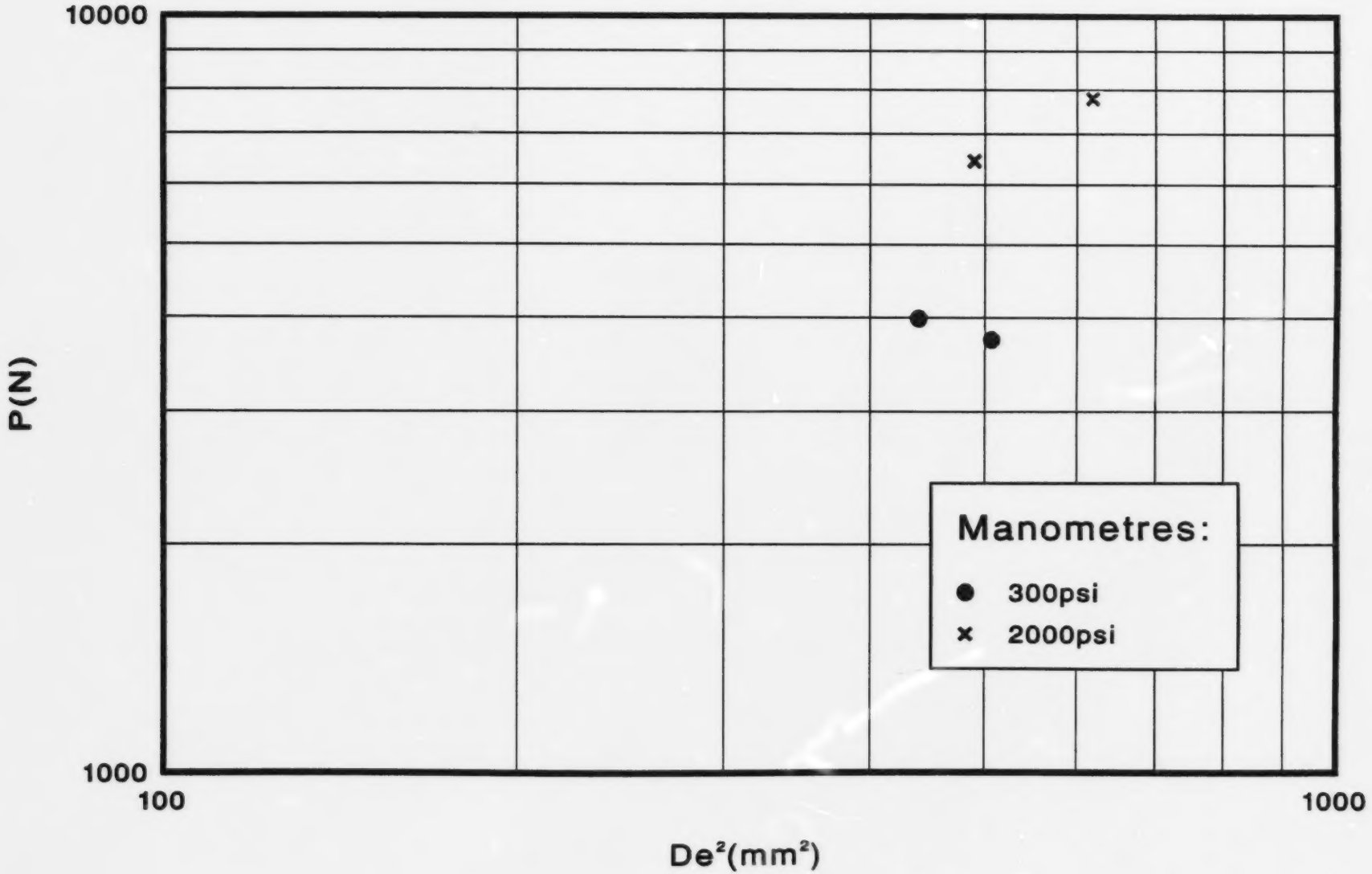


FIGURE 6: BLOC # 3

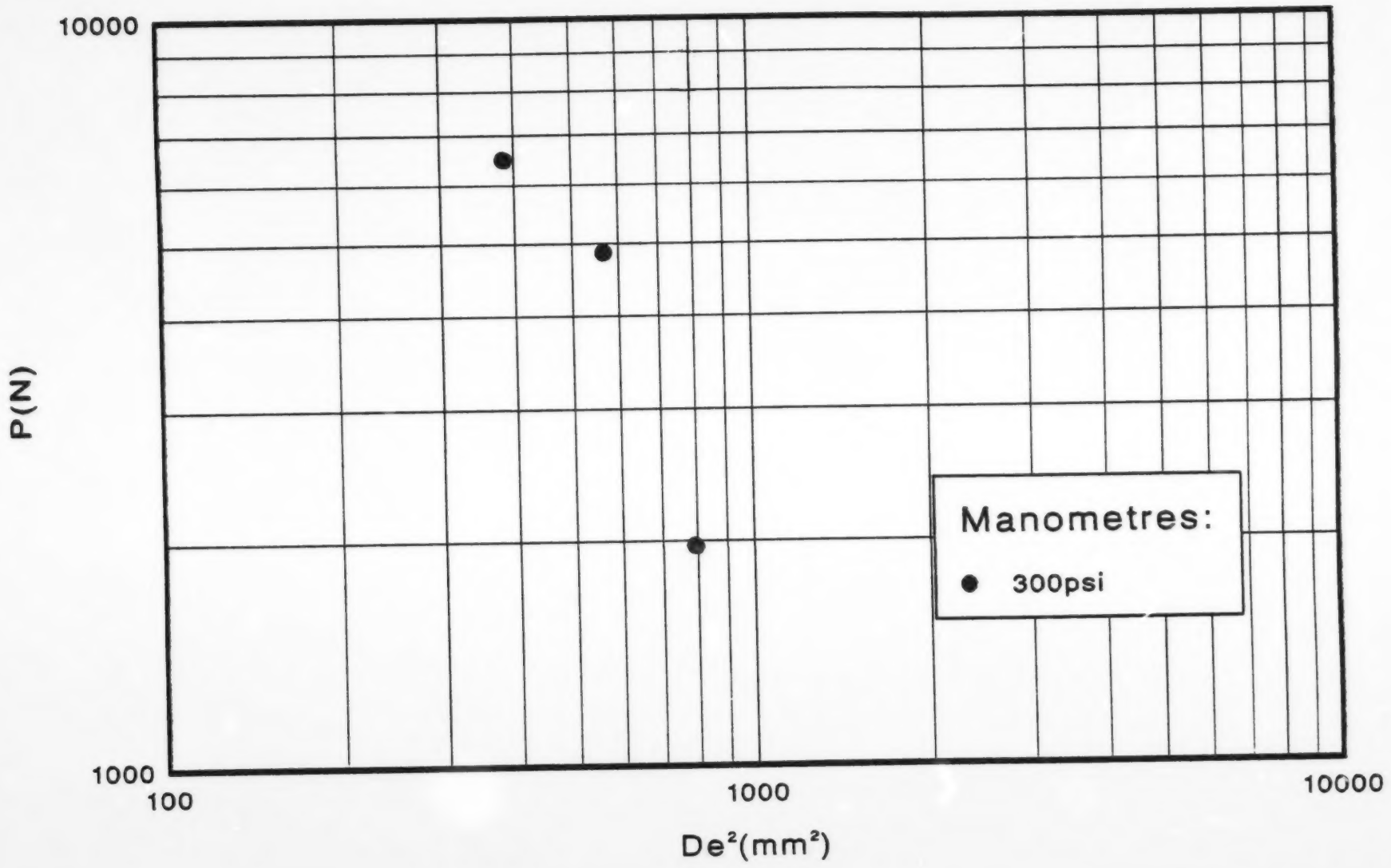


FIGURE 7: BLOC # 5

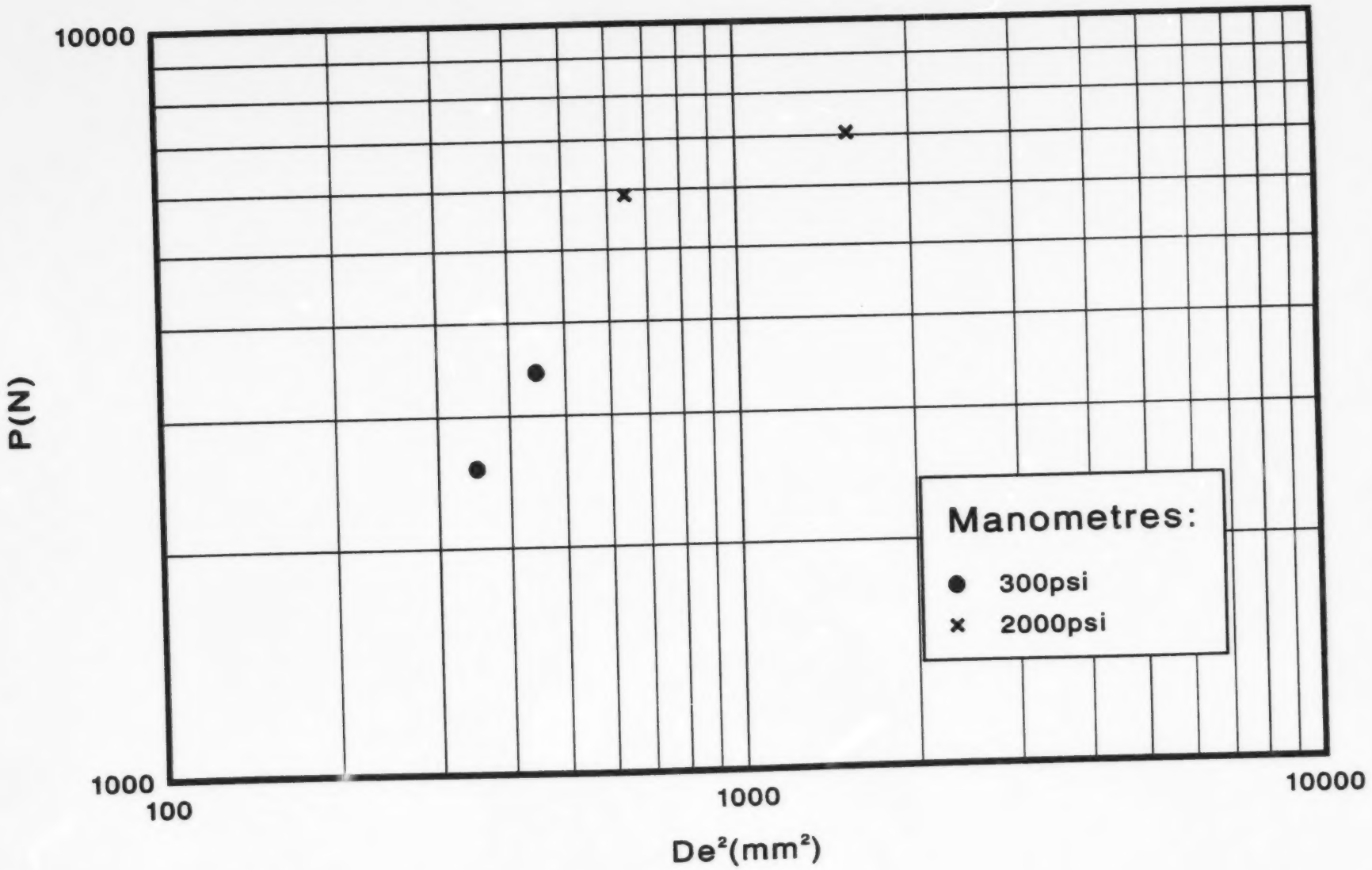


FIGURE 8: BLOC # 6

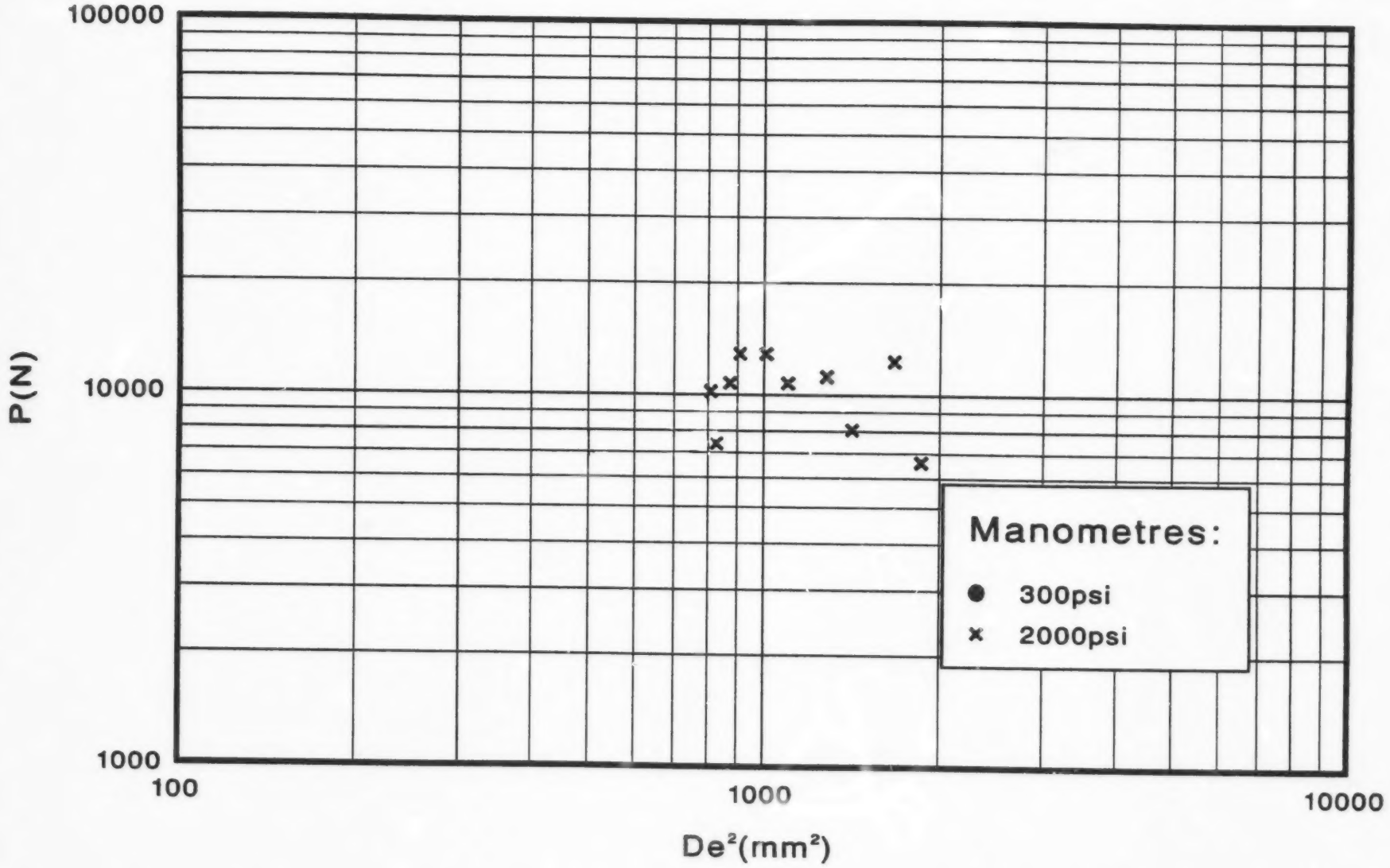


FIGURE 9: BLOC # 7

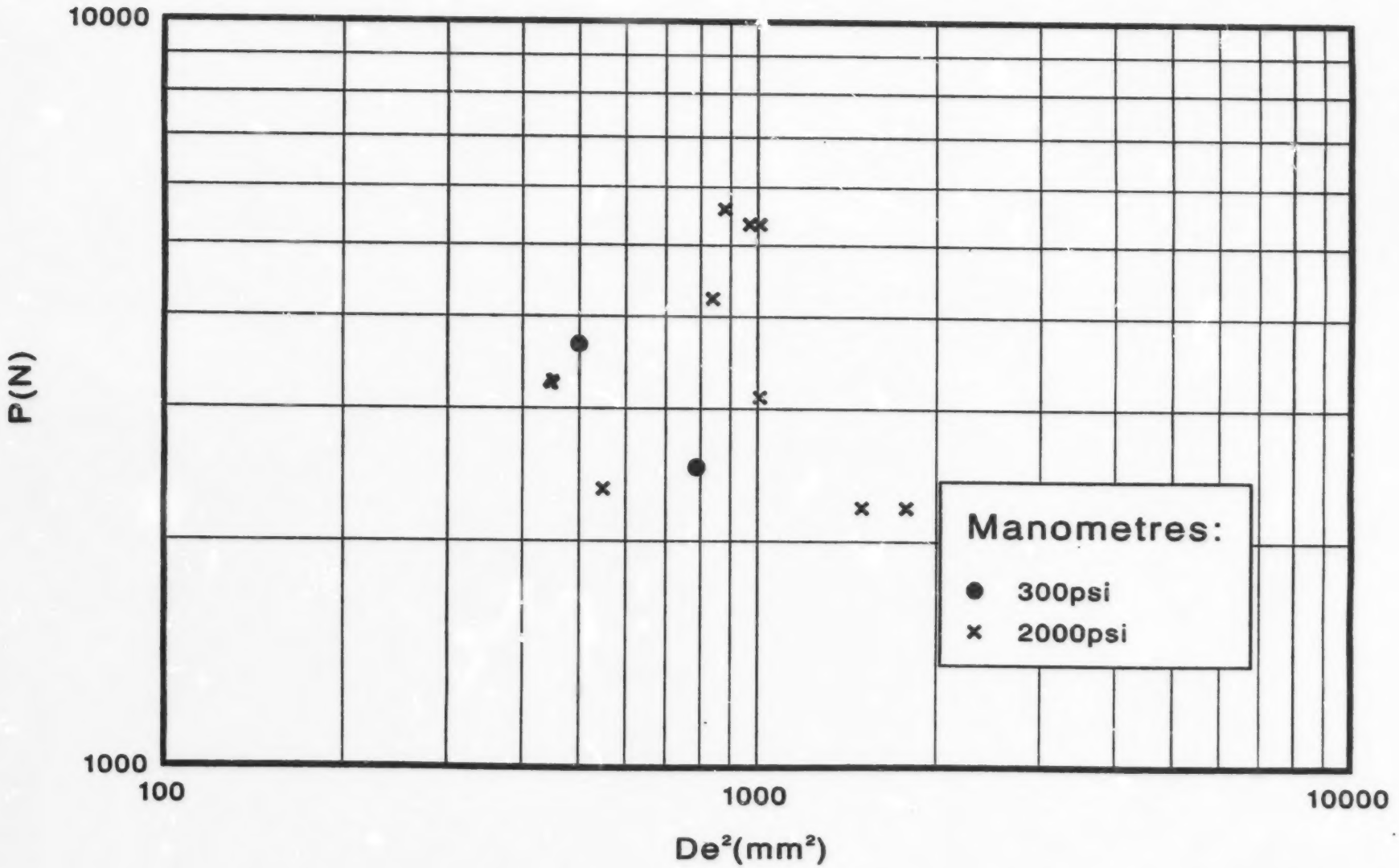


FIGURE 10: BLOC # 8

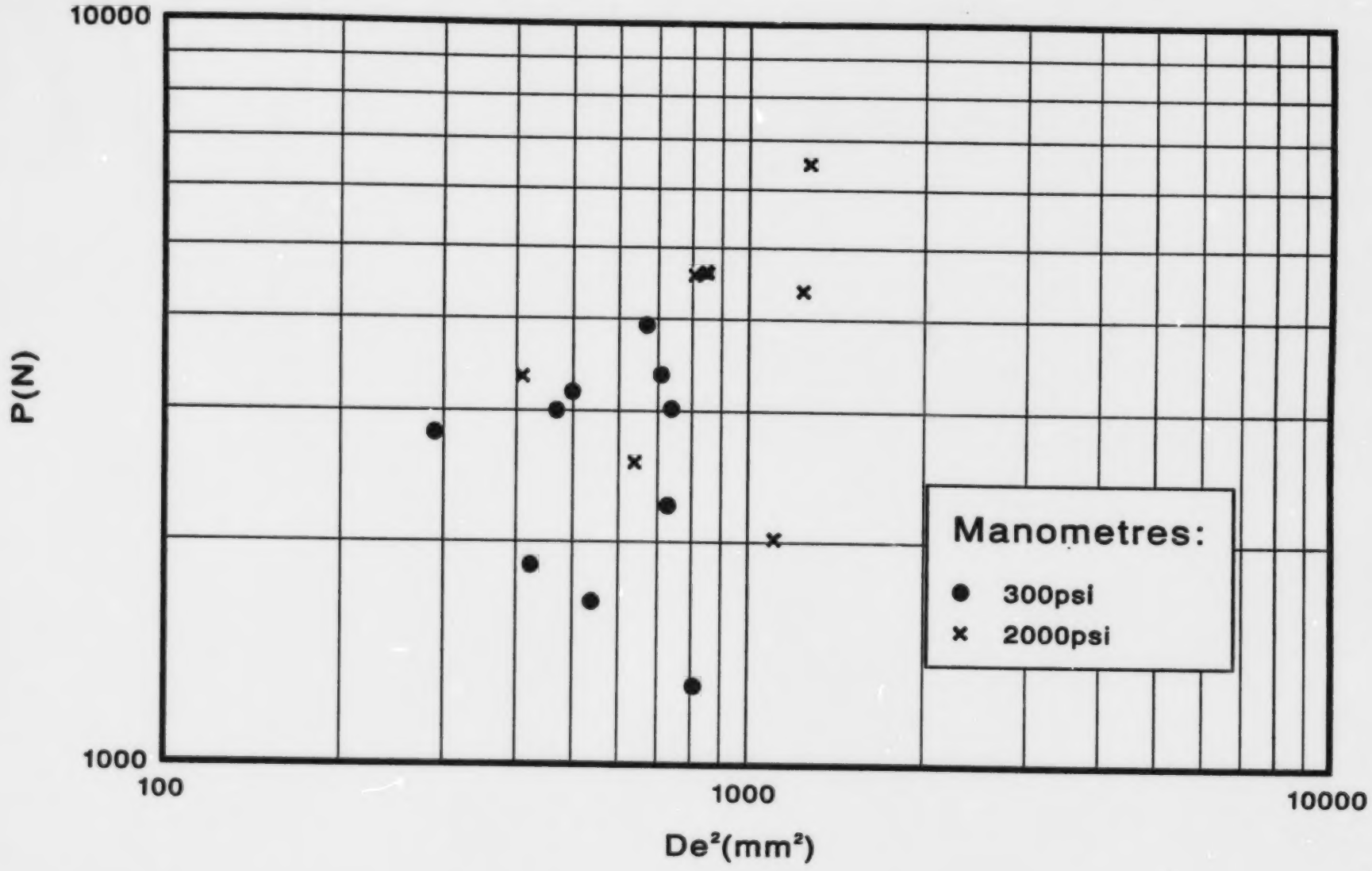


FIGURE 11: BLOC # 9

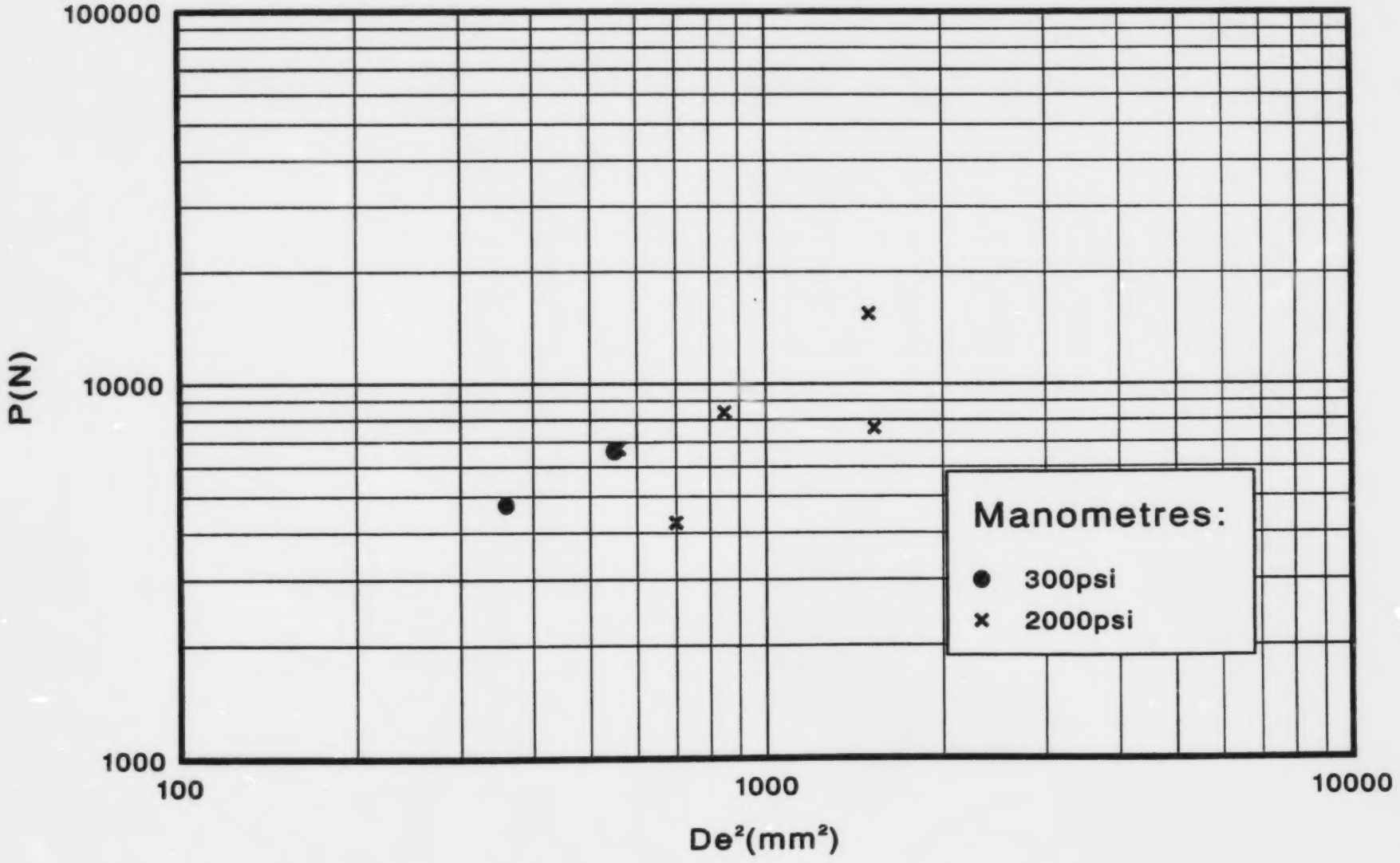


FIGURE 12: BLOC # 11

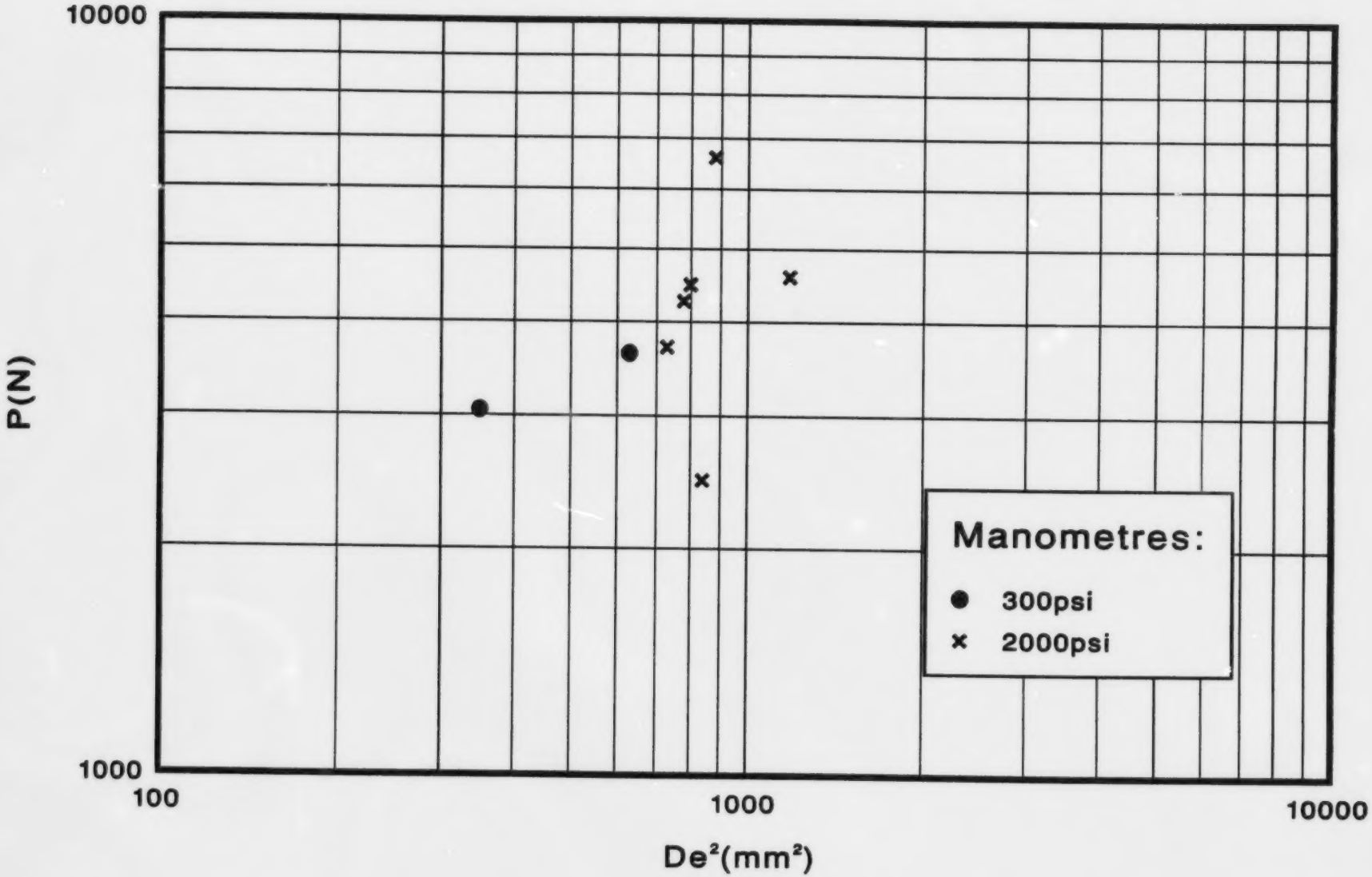


FIGURE 13: BLOC # 12

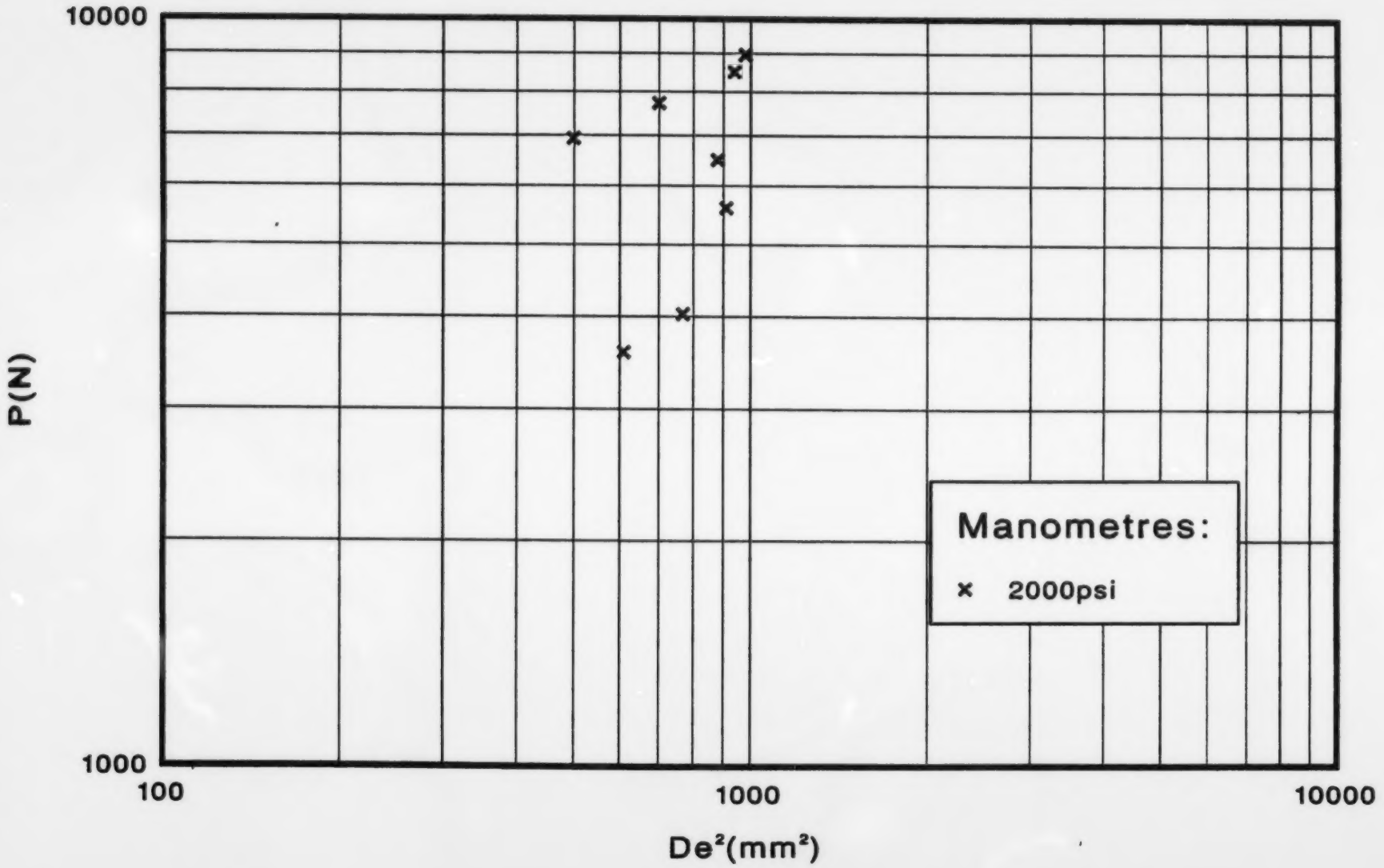


FIGURE 14: BLOC # 13

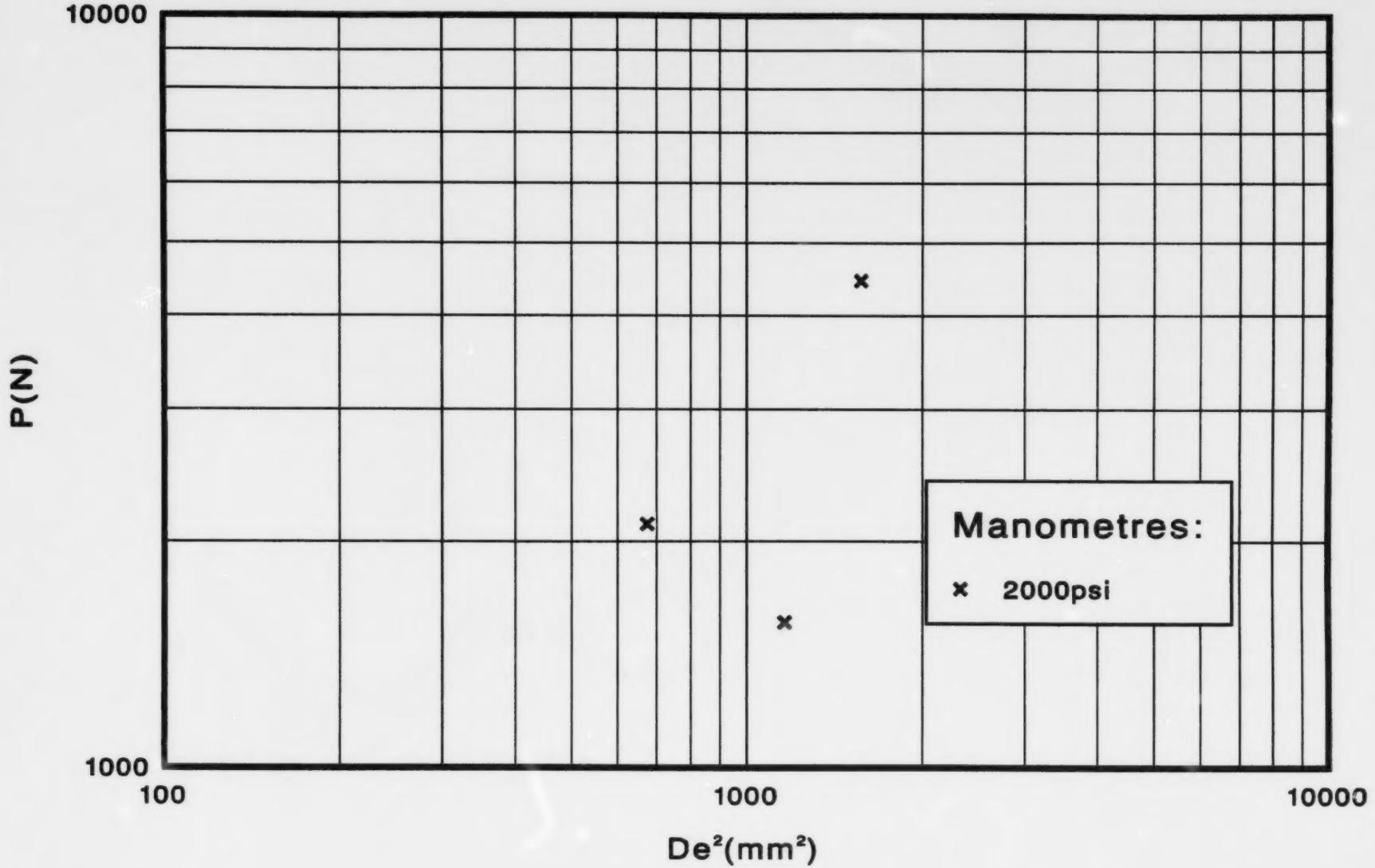


FIGURE 15: BLOC # 14

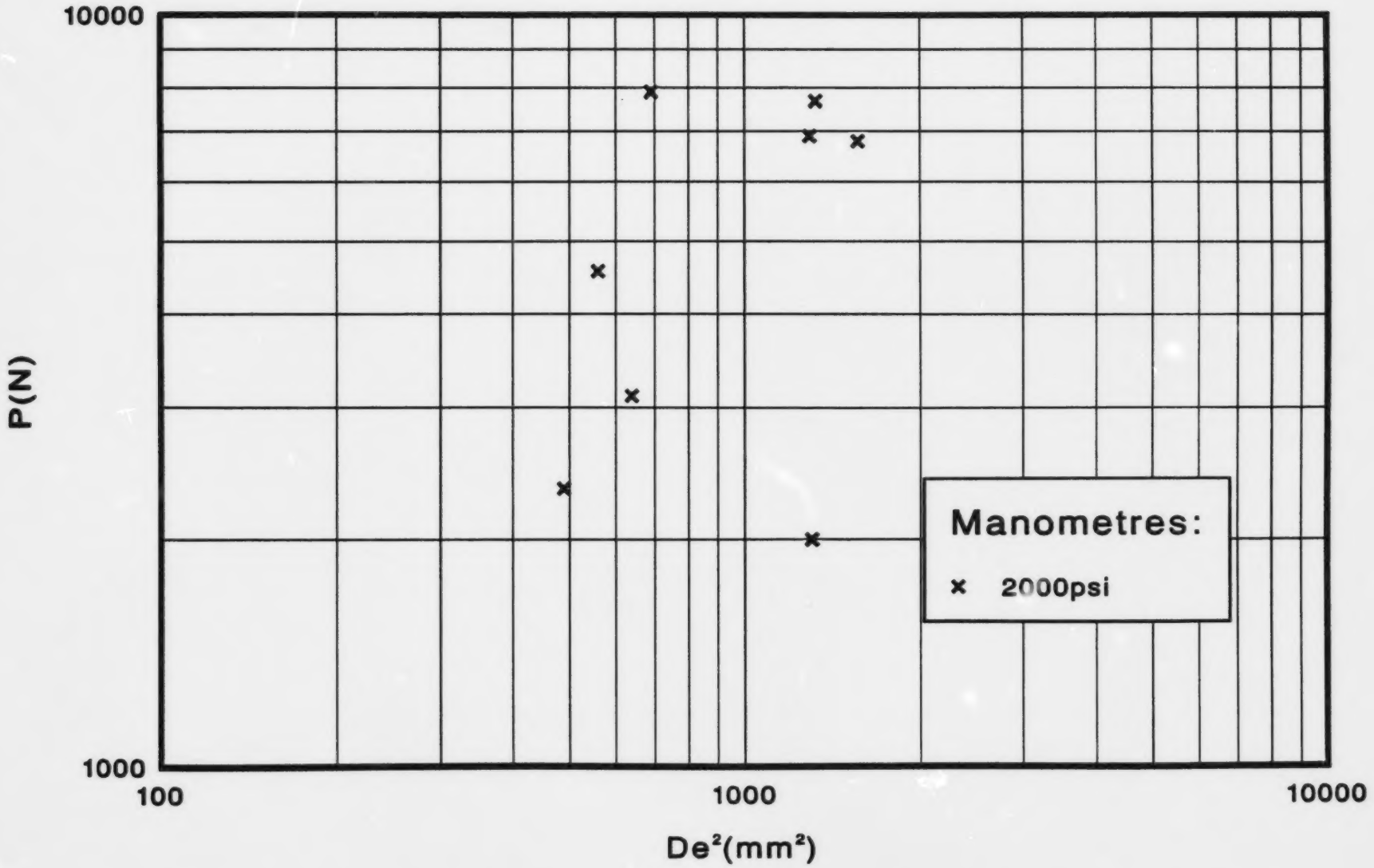


FIGURE 16: BLOC # A

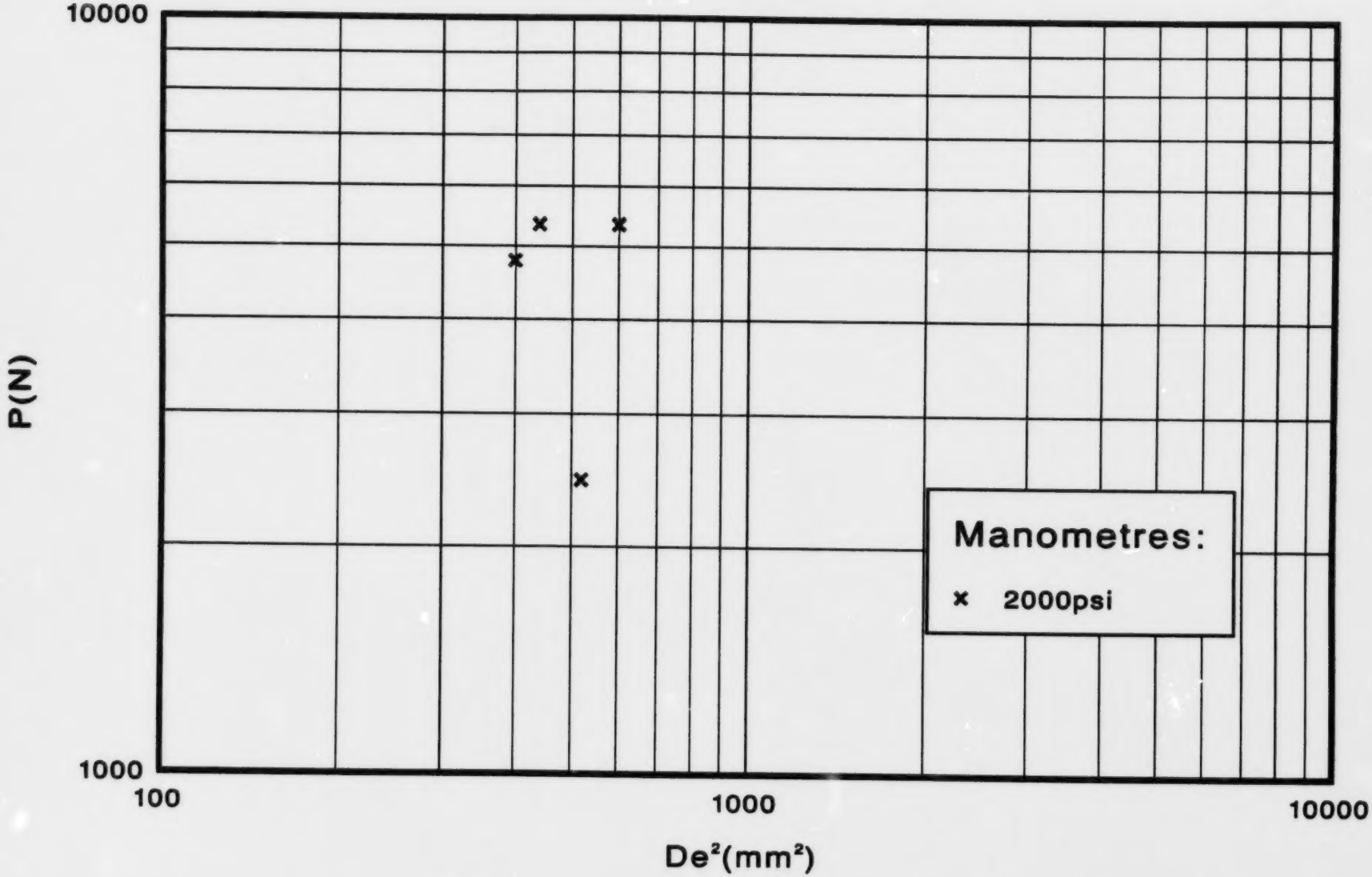


FIGURE 17: BLOC # X

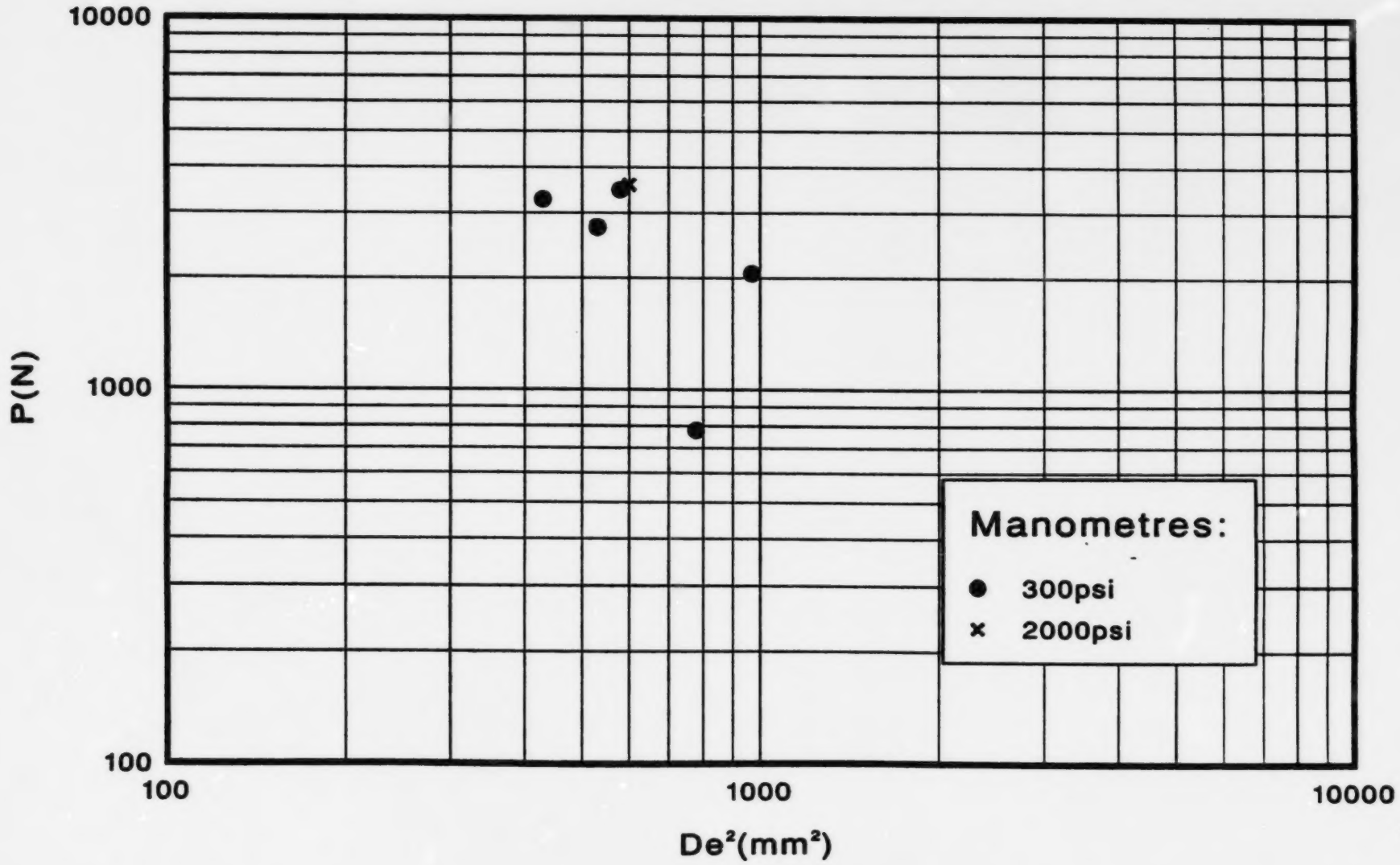


FIGURE 18: BLOC#Y

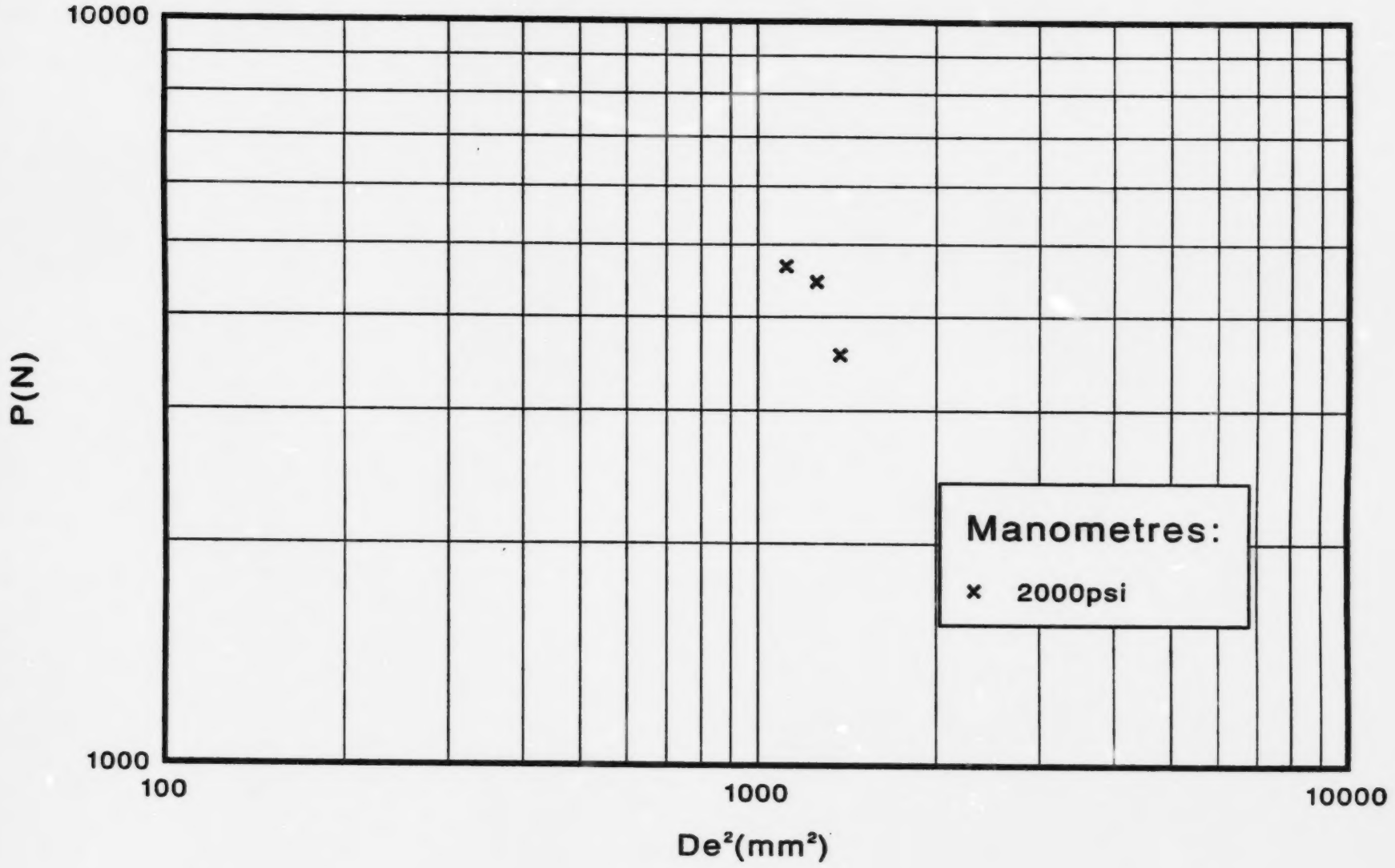


FIGURE 19: BLOCS AVEC MOINS DE 30% QUARTZ

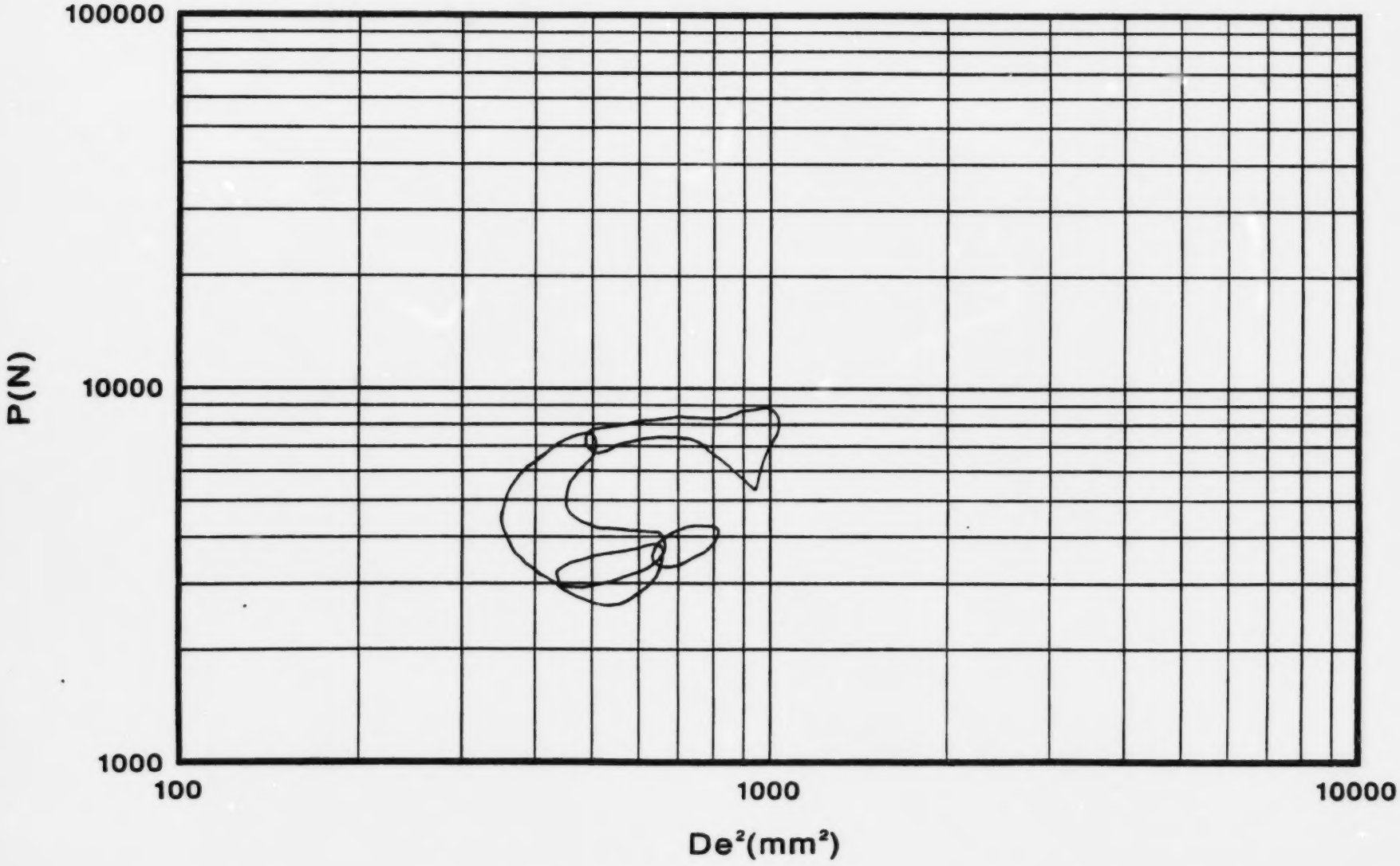


FIGURE 20: BLOCS AVEC PLUS DE 30% ET MOINS DE 60% QUARTZ

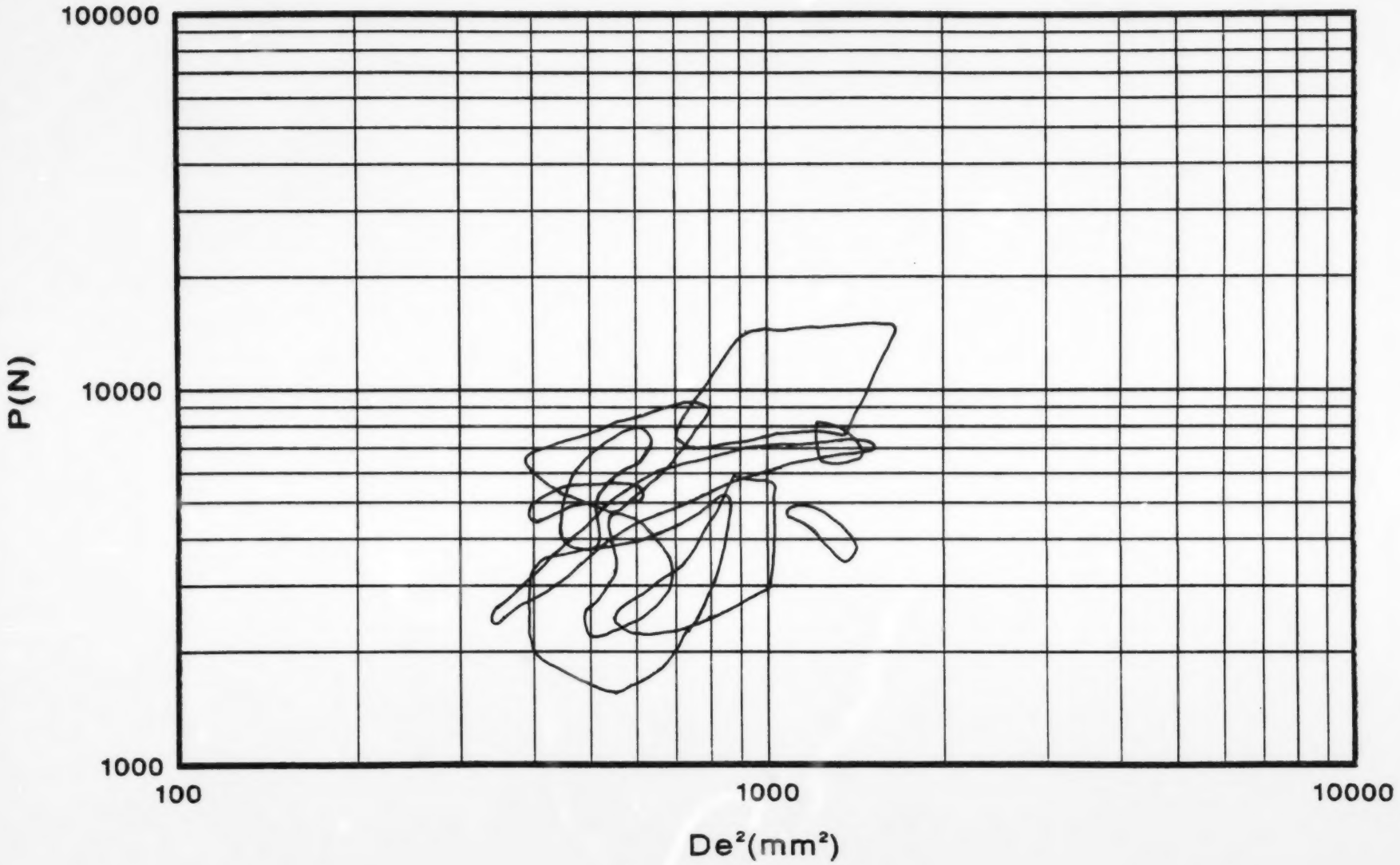


FIGURE 21: BLOCS AVEC PLUS DE 60% QUARTZ

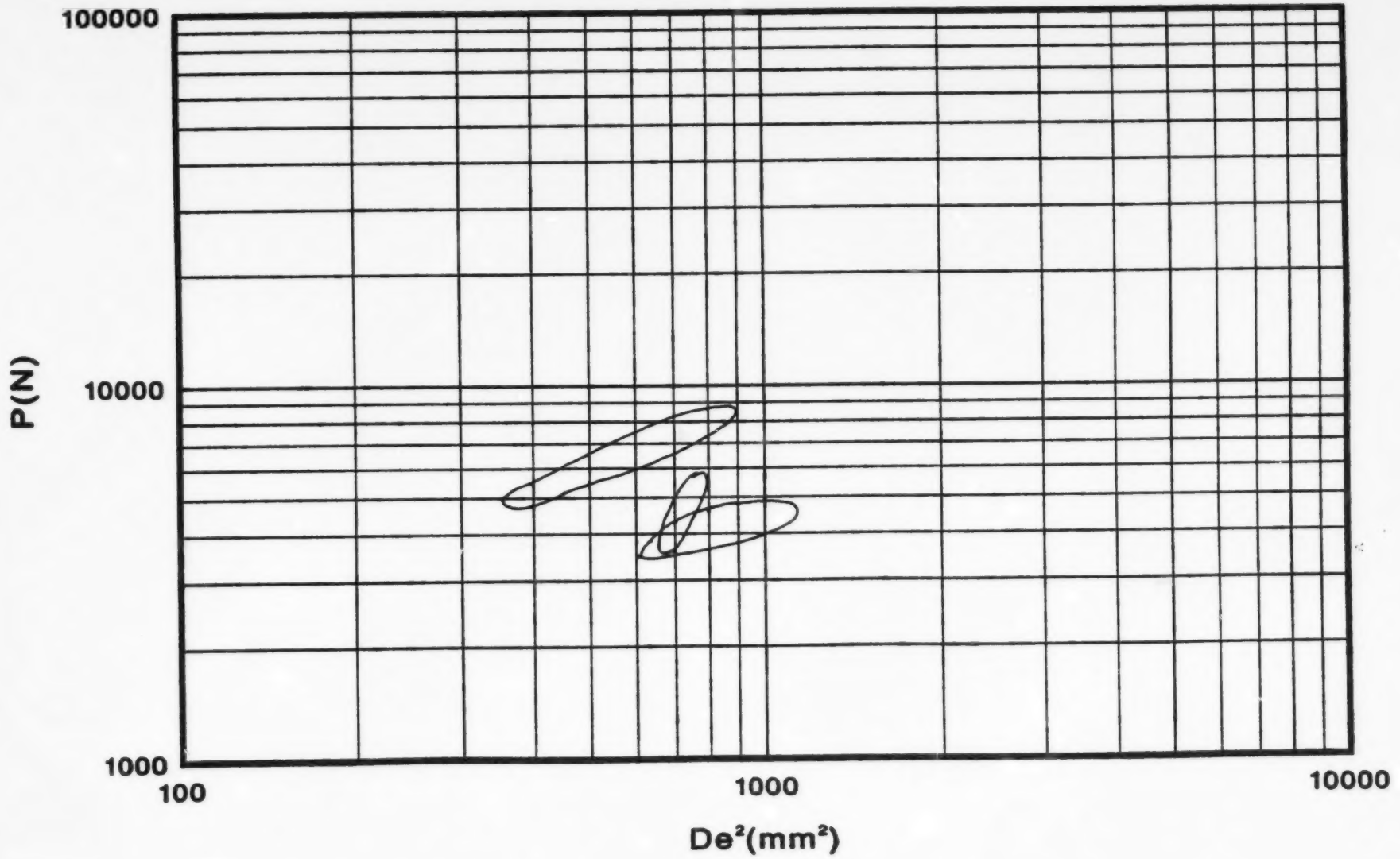
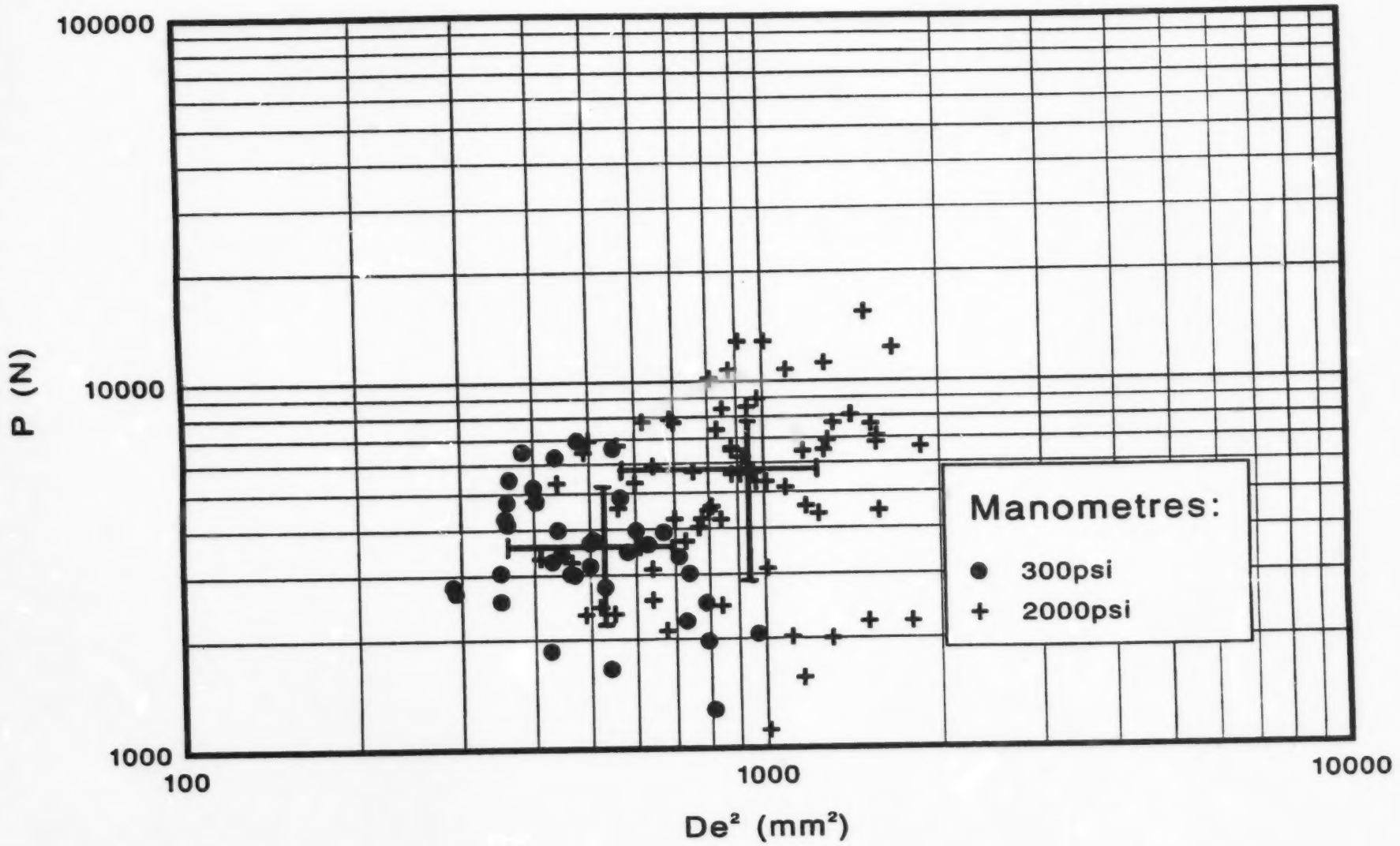



FIGURE 22: ENSEMBLE DES MESURES ET VALEURS MOYENNES